

サンゴ礁産の化石を含む閃亜鉛鉛鋳鉱石と 閃亜鉛鋳ノジュール

高畑 裕之¹⁾・Boonsong Yokart²⁾

1. はじめに

タイ王国北部, ミャンマー国境に近いタック県メソット郡に所在するパデン鋳山は, 世界中でも最も大きな二次(酸化)亜鉛鋳山で, 上部三畳紀~ジュラ紀の炭酸塩岩に胚胎する広義のミシシッピーバレー型亜鉛-鉛鋳床と考えられています. パデン鋳山の主鋳体は, 主にはsmithonite ($ZnCO_3$), heminorphite ($Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$)と少量のhydrozincite ($2ZnCO_3 \cdot 3Zn(OH)_2$), loseyite ($(Mn, Zn)_7(OH)_{10}(CO_3)_2$)から構成されますが, 主鋳体の西側に点在する4個の衛星鋳体は主に初生硫化鋳物により構成され, 鋳化時の産状を保持しています.

1998年1月に衛星鋳体の一つであるPa De鋳体(当時Tak Mining社が開発中)を見学する機会があり, その際に採取したサンゴ化石を含む閃亜鉛鉛鋳鉱石と閃亜鉛鋳ノジュールの産状について述べ, ミシシッピーバレー型鋳床の低温・高塩濃度の鋳液による非破壊的な交代鋳化作用の一端をご紹介できればと思います.

2. パデン亜鉛鋳床群の概略

パデン鋳床は, タイバンコクの北西約500kmのミャンマー国境の町メソットから南東へ11kmのDoi Padaeng (パデン山)に所在します. 「パデン」とはタイ語で『赤い岩(崖)』という意味で, 熱帯サバンナ気候の密林に覆われる多植生地域中に屹立する無植生の赤い山に由来したものです. 周囲は標高200~600m程度の開析の進んだ丘陵地からなっています.

パデン鋳床は, 1947年にパデン山山頂のパゴタ鋳体が最初に発見され, その後, 1957~1965年には住友金属鋳山株式会社, 1966~1967年には豪国資本

のNational Lead社, 1972~1973年にはThai Zinc社により探鋳及び経済性評価が実施されましたが, 経済情勢などから開発には至りませんでした.

パデン鋳山を所有するPadaeng Industry Public社は1981年に設立され, 1981~1983年に鋳床の再評価を実施し, 1984年より生産を開始, 同社が所有するタック精錬所において亜鉛インゴット及びカドミウムバーを生産しています. 開発当初の推定可採鋳量は,



写真1 1998年当時のPadaeng鋳床切羽状況.



写真2 パデン鋳床切羽における smithonite (全体)と hydrozincite (スケール上部の白色鋳物)の産状.

1) 日鉄鋳コンサルタント株式会社

2) Department of Mineral Resources, MNRE, Thailand

キーワード: 閃亜鉛鋳, サンゴ礁産化石, ミシシッピーバレー型鋳床



写真3 Hua Lon 鉱床の露頭状況.

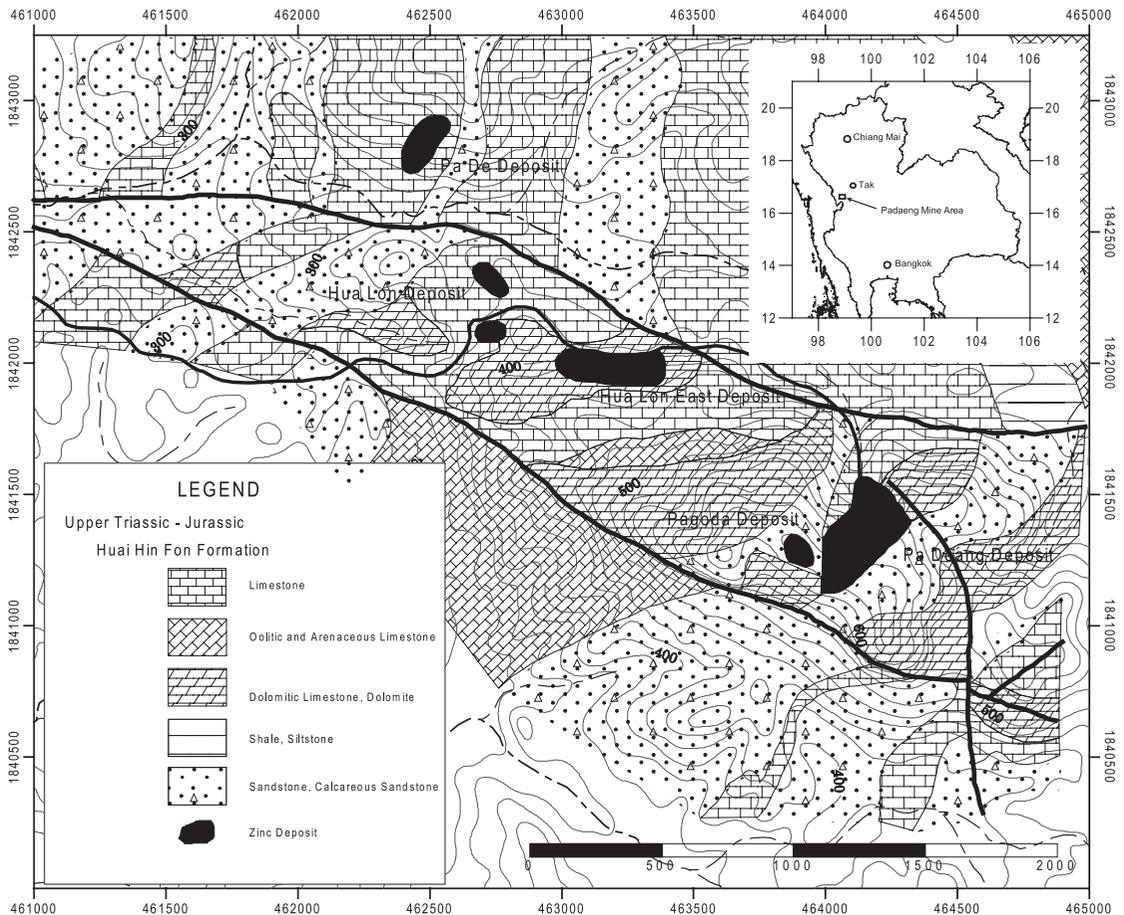
10%カットオフで平均品位28.3%Zn, 4,590千トンでした。2007年末の残鉱量は、同社のホームページによれば3%カットオフで平均品位8.7%, 4,221千トンです。

4つある衛星鉱体は、東側からファロン東 (Hua Lon East) 鉱体、ファロン (Hua Lon) 鉱体、パデ (Pa De) 鉱体と呼称され、前2社はパデン社所有、パデ鉱体はTak Mining社が所有していました。

Tak Mining社の保有していたパデ鉱体は、1993年に採掘権を取得し、1997年より操業を開始し当初地表部の酸化鉱を手選により選鉱していましたが、酸化鉱の終掘とパデン社との買鉱契約を機に硫化鉱採掘へ転換中でした。パデ鉱体には、3,000m²の範囲にPha Det I~IVの小鉱体があり、Pha Det Iのみが採掘されていました。

3. パデン鉱床群周辺の地質状況

パデン鉱床群周辺の地質図を第1図に示します。パデン鉱床群は、上部三畳紀~ジュラ紀のホイヒンフ



第1図 パデン鉱床群周辺の地質平面図 (Yokart, 1985を簡略化)。

オン(Huai Hin Fon)層群に胚胎しています。ホイヒンフォン層群は、灰～暗灰色の石灰岩、アンモナイト、腕足類、礁性サンゴ化石を含む淡灰色板状石灰岩とこれらに挟まれる石灰質頁岩、石灰質砂岩及び石灰質礫岩から構成され、層厚は4,000m以上と推定されています(Yokart, 1985)。鉱床周辺では、WNW-ESE方向の2本の断層によって、北部、中部、南部の3ユニットに区分され、ユニットごとに構成する岩石種に違いが見られます。地質構造は、北部でN-S走向、20～30°西傾斜、中部、南部ではNE-SW走向、20～50°NW傾斜を示します。

亜鉛鉱体は、北部及び中部ユニット中に胚胎し、鉱体周辺や鉱液が上昇したと考えられる断層沿いには顕著なドロマイト化が認められます。

広域的にはホイヒンフォン層群の北東側には断層関係で塊状石灰岩、無化石ドロマイト質石灰岩、頁岩、砂岩から構成される二畳紀のドイパワン(Doi Phawar)層が分布します。火成岩類は、少なくとも鉱体より25km以内の地表部には分布しません。一方、西側はメソット盆地を埋積する第三紀層に不整合で覆われています。

4. タックマイニング社パデ鉱体の地質と鉱床

パデ鉱体は、パデン鉱床群の中では唯一北部ユニットに胚胎する初生鉱床で、化石に富んだ暗灰色の石灰岩中に産し、鉱体周辺の石灰岩はドロマイト化が顕著です。石灰岩の下盤側には淡灰色～暗灰色を呈する細粒砂岩～砂質シルト岩が分布し、両者の境界部付近に鉱体が発達します。

口絵写真1に1998年当時のパデ鉱体Pha Det Iの切羽状況を示します。地層は北北東-南南西走向、40～50°の西傾斜を示しています。鉱体は、石灰岩の層理に沿って層状に交代するほか、ガマなどの空洞を充填する産状も見られます。

鉱石鉱物は、中～細粒の茶色～黄褐色閃亜鉛鉱と粗～中粒方鉛鉱、フランボイダル組織を示す細粒黄鉄鉱からなり、石英、方解石、ドロマイトの脈石を伴います。

パデ鉱体は、ファロン鉱体、ファロン東鉱体と比べて酸化帯の発達がよく、ゴッサン、スミソナイト、ヘミモルファイトなどからなる酸化鉱体が地表部に厚さ5～10m程度発達しています。

口絵写真2, 3のように、初生硫化鉱体中にはしばしば枝状及び単体サンゴ類、貝化石に似た腕足類などのサンゴ礁由来の化石が多数残存しているのが観察されます。化石類は弱珪化とドロマイト化を被っていますが、初生の組織がよく保存されていて、鉱体が静的な条件の下で低温で形成されたことを示しています。

鉱体の下部を構成する細粒砂岩中には、口絵写真4のように微量の方鉛鉱を伴う閃亜鉛鉱ノジュールが観察されます。ノジュールは層理方向に点列し、野外では全く普通の石灰質ノジュールの産状と変わりません。

これらの閃亜鉛鉱ノジュールの大きさは、直径1～15cm程度と様々で、胚胎層準や層理方向での産状の差異は認められません(口絵写真5, 6)。

口絵写真7に示すように、直径5cm程度より小さなものは、きれいな球顆状組織を示し、中心部から放射状に針状の閃亜鉛鉱が成長しています。閃亜鉛鉱は黄茶～茶色を呈し、強い内部反射を示すことが特徴で、鉄に乏しくカドミウムに富むことを示します。方鉛鉱を伴うことは少ないですが、方鉛鉱は球顆内に晶出することはなく、球顆表面にのみ晶出します(口絵写真6, 7)。

口絵写真8は、大型のノジュールの断面写真ですが、大きなノジュールではドロマイトないしドロマイト質方解石を取り込んでいるのがしばしば観察され、複数の球顆状閃亜鉛鉱が結合して成長しています。

このような産状から、閃亜鉛鉱ノジュールは硫化鉱体をもたらした鉱液が細粒砂岩を通過する際に細粒砂岩中に存在した石灰質ノジュールを交代して形成したものと想定されます。母岩である砂岩は肉眼的には未変質のようですが、ハンマーで打撃すると桃褐色の微粉を生じることから(口絵写真4)、マンガンに富むドロマイト変質を受けています。変質の程度は微弱であり、層理構造が明瞭に保持されていることから、鉱液は低温で地質構造を乱すことなく、じわじわと交代していったことが想定されます。

5. 閃亜鉛鉱の生成温度及び塩濃度

Pha Det I鉱体とHua Lon鉱体の閃亜鉛鉱の流体包有物均質化温度及び塩濃度測定が実施されています(JICA-MMAJ, 1998)。

第1表 流体包有物均質化温度及び塩濃度測定結果
(JICA・MMAJ, 1998より抜粋).

	Pa De 鉱体	Hua Lon 鉱体
測定対象鉱物	閃亜鉛鉱	閃亜鉛鉱
温度測定数	22	19
温度範囲	100～135℃	102～125℃
平均温度	116.6℃	114.1℃
塩濃度測定数	12	10
濃度範囲	12.15～14.77	4.03～7.17
平均塩濃度	13.50	5.87

塩濃度：wt% NaCl equivalent

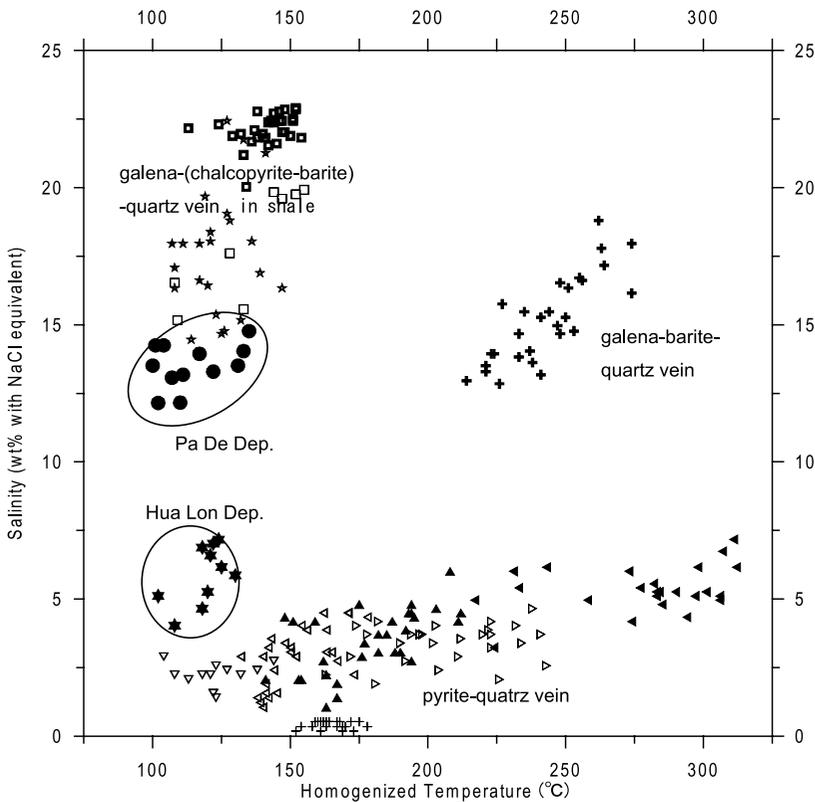
第1表に示すように、パデ鉱体、フアロン鉱体両鉱体の閃亜鉛鉱流体包有物充填温度は、100～130℃の温度範囲を示し、両者の平均温度も115℃前後でほぼ同じで、野外での観察結果と調和します。一方、流体包有物の塩濃度はパデ鉱体では12.15～14.77 wt%、フアロン鉱体では4.03～7.17と2～3倍の相違

が見られますが、熱水性鉱脈鉱床の鉱液と比べれば高塩濃度の鉱液が関与していたことを示します。

6. まとめ

以上の産状等から、パデン鉱床群はミシシッピーバレー型鉛・亜鉛鉱床であると結論されますが、典型的なミシシッピーバレー型鉱床の胚胎層準であるオールドビス～下部石炭紀の炭酸塩岩を交代したのではなく、パデン鉱床群では上部三畳紀～ジュラ紀が胚胎層準となっていることが特異点です。パデン鉱床群での鉱化作用は、炭酸塩岩が褶曲・断層活動を被った後に、これらの活動によって生じた裂隙系を通じて鉱液が上昇し、塊状部に比べて浸透性の高い化石に富んだ砂礫状の石灰岩層準などを置換して形成されたものと考えられています。

パデン鉱床群を含むタイ・ミャンマー国境付近は、地質構造区的には、シャンタイ準プラットフォームに属し、先カンブリア紀変成岩、古生代の変成岩・非変成堆積岩、中生層から構成され、S-type チタン鉄鉱系花



第2図
シャンタイ構造区西部の鉱化流体の性状 (JICA・MMAJ, 1998に加筆).

崗岩類に由来する錫-タングステン鉱化帯としてよく知られていますが、カンブリア紀、オルドビス紀など複数の時代の炭酸塩岩を母岩とした層準規制硫化鉱床や非変質・非変成堆積岩に発達する方鉛鉱-石英脈、方鉛鉱-閃亜鉛鉱-黄鉄鉱-石英脈などの鉱脈型鉱徴も認められます。

炭酸塩岩を母岩とする硫化鉱体の中には花崗岩体に近接して産する明らかなスカルン型鉱床由来のものもありますが、火成岩から遠く離れた鉱徴地において低温・高塩濃度を示す石英脈が得られています(第2図)。これらのうち、方鉛鉱を含む脈は、山岳民族によって先込銃の弾丸の原料として使われており、地質屋より山岳民族に聞いた方が産地がわかることに驚かされました。

シャンタイ準プラットフォームは、先カンブリア紀、石炭-二畳紀、三畳紀及びアルプス造山運動の影響を繰り返し受けた構造帯であり、これらの構造運動に伴って複数の鉱化作用を被ってきたと考えられています。主な鉱床は、気成鉱床、接触交代鉱床、ミシシッピーバレー型鉱床、熱水鉱脈型鉱床、より低温のアンチモニー、蛍石鉱床と多岐に亘っていますが、鉱化作用と構造運動の関連性、個々の鉱化時期が必ずしも解明されているとは言えません。今後、鉱床データの蓄積が進み、これらの問題が解明されることを期待したいと思います。

謝辞：本稿は、国際協力事業団・金属鉱業事業団(当時)が1997年より3年間に実施した資源開発協力基礎調査「タイ王国・メーサリアン地域」の現地調査の際に収集した資料をもとに記載しています。流体包有物試験についても同報告書より引用させていただきました。

化石を含んだ閃亜鉛鉱(登録番号 GSJ M33897)と閃亜鉛鉱ノジュール(登録番号 GSJ M33899)は、現在地質標本館に保管されています。

標本の写真撮影及び本稿投稿に際して、青木標本館館長並び編集委員会の皆様には多大なご指導・ご助力をいただきました。

関係者の方々に心より深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 国際協力事業団・金属鉱業事業団(1998)：資源開発協力基礎調査タイ王国メーサリアン地域。
 Yokart, B. (1985) : Mineralography and Geochemistry of Lead-Zinc deposits in Northwestern Thailand, Master thesis of Science, Chiang Mai University, pp73-87.

TAKAHATA Hiroyuki and BOONSONG Yokart (2009) : Sphalerite ore body including coral fossils and Sphalerite nodules.

<受付：2009年1月19日>